下载APP

23 | 事务（二）：原子性，对应用层提供的完美抽象

2022-03-25 陈现麟

《深入浅出分布式技术原理》 课程介绍 >

讲述：张浩

时长 12:30 大小 11.46M

你好，我是陈现麟。

通过上节课的学习，我们理解了事务的一致性的定义，并且知道了事务一致性的实现，是通过底层存储的多副本数据强一致性，事务的原子性、隔离性和持久性一起协作，以及数据库层和应用层的约束检测等各方面来保障的，那么本节课，我们就继续来讨论事务中，另一个非常重要的特性：原子性。我们从原子性的定义出发，一起分析在分布式系统中，原子性的实现方法，最后再对原子性的关键问题进行讨论。

当我们对事务的原子性进行讨论和学习后，你就能明白原子性是一个非常完美的抽象，因为它对应用程序，屏蔽了分布式系统中部分失败的问题，这可以大大减少我们在编程时的心智负担。

原子性的定义

一般来说，我们在计算机领域第一次接触“原子”这一概念，都来源于操作系统的“原子操作”。在操作系统中，原子操作的定义是指，不可被中断的一个或者一系列操作，它包含了两个层面的意思。

首先，是**整体的不可分割性**。一个原子操作的所有操作，要么全部执行，要么就一个都不执行，即 all-or-nothing 。

其次，是**可串行化的隔离性，即线程安全**。原子操作是在单核 CPU 时代定义的，由于原子操作是不可中断的，那么系统在执行原子操作的过程中，唯一的 CPU 就被占用了，这就确保了原子操作的临界区，不会出现竞争的情况。原子操作自带了线程安全的保证，即最严格的隔离级别的可串行化，所以我们在编程的时候，就不需要对原子操作加锁，来保护它的临界区了。

但是，我们上节课提到了事务中原子性的定义，一个事务所有的操作，要么全部执行，要么就一个都不执行，即 all-or-nothing 。它可以让事务在执行的过程中，当遇到故障等原因，不能全部执行成功的时候，将已经执行的操作，回滚到事务前的状态。

你会发现事务中对原子性的定义，只保留了原子操作的不可分割性，并没有关注可串行化的隔离性。其实这也很好理解，主要是基于性能的考虑，如果事务的原子性同时定义了不可分割性和可串行化的隔离性，那么对数据库性能的影响将会非常大，因为数据库需要频繁地操作，相对于内存来说非常慢的磁盘，而可串行化地去操作磁盘，在很多业务场景下的性能是我们不可以接受的。

因此，**在事务的定义中，就将原子操作的不可分割性和隔离性，分别定义出了两个特性，即原子性和隔离性**。其中隔离性为了在性能和正确性之间权衡，定义了多种隔离级别，我们可以依据自己的业务情况进行选择，具体的隔离性讨论，我们将在下一节课进行。

怎么实现原子性

通过上面的讨论，我们知道了事务的原子性只关注整体的不可分割性，一个事务所有的操作，要么全部执行，要么就一个都不执行。那么我们应该如何实现事务的原子性呢？

从不可分割性的角度来思考，实现一个事务需要解决两个维度上的操作分割：

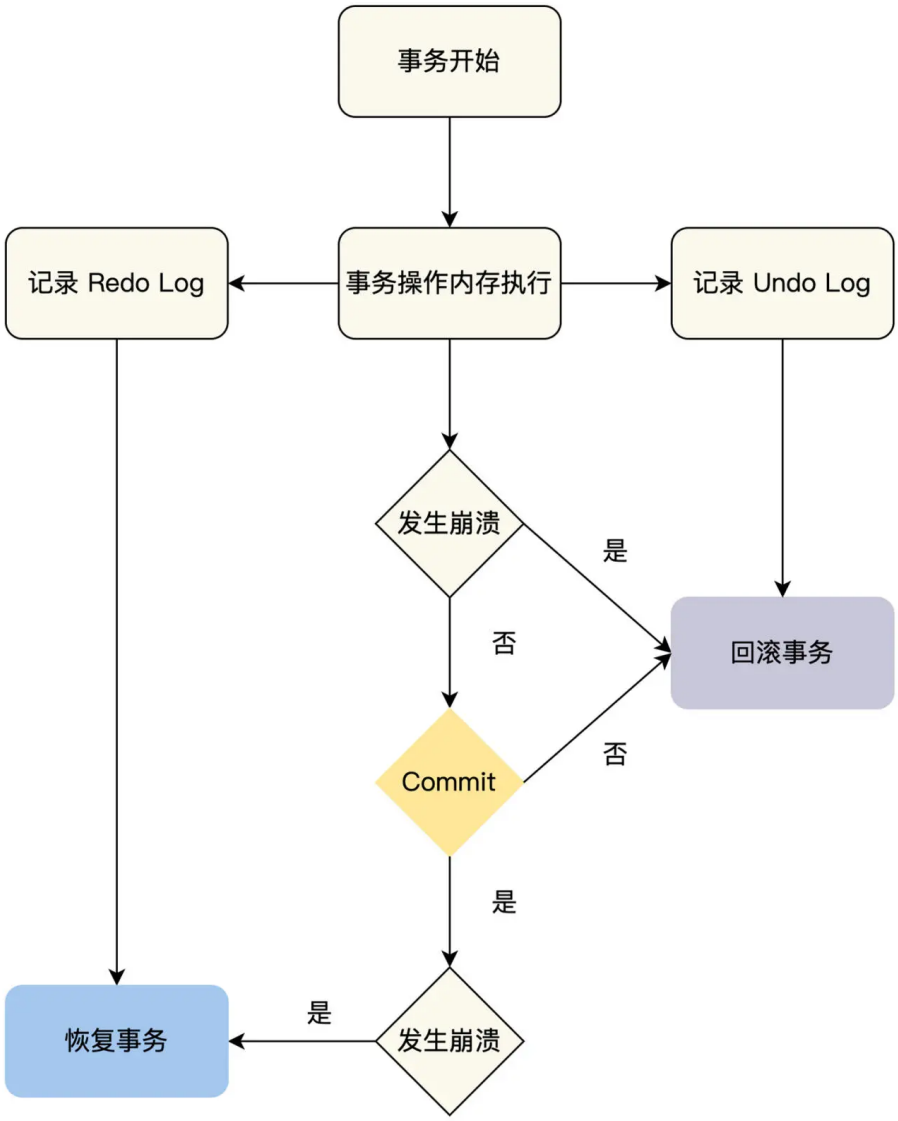
第一个维度是单节点事务，即单节点上操作的不可分割性。在单节点上，一个事务在执行的过程中出现崩溃等问题，它的一部分操作已经执行完成，而另一部分操作则无法继续执行，这时就会出现整个事务操作无法继续完成，仅仅部分操作完成的情况。

第二个维度是分布式事务，即多节点之间的操作不可分割性。在多节点上，一个事务操作需要在多个节点上运行，如果某些节点检测到违反约束、冲突、网络故障或者崩溃等问题，事务将无法继续执行，而其他节点的事务却已经顺利完成了，这时就会出现部分节点操作完成的情况。

下面我们就从单节点事务和分布式事务的维度，来一一讨论事务原子性的实现。

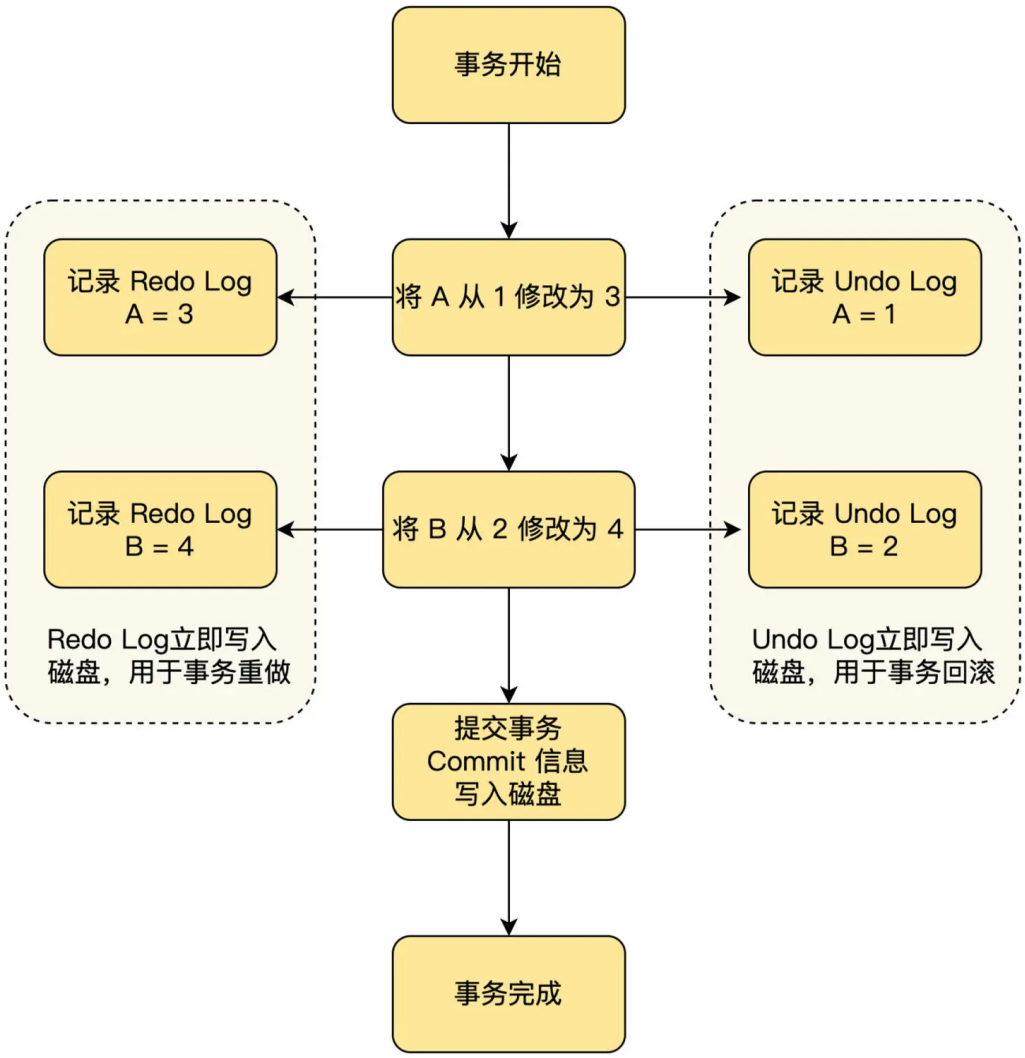
单节点事务

对于单节点上运行的事务（单节点事务）来说，在执行过程中，不需要与其他的节点交互，也就不会出现部分节点失败导致的操作分割，我们只需要考虑当前节点整体失败导致的操作分割即可。对于单节点事务，一般是在存储引擎上，通过 Undo Log 、 Redo Log 和 Commit 记录来实现，具体流程如下图。



我们从图中不难看出，对于单节点事务来说，一个非常关键的顺序就是在磁盘上持久化数据的顺序：先写入 Undo Log 和 Redo Log ，然后再写入 Commit 记录。其中事务的提交或中止由 Commit 记录来决定，如果在写入 Commit 记录之前发生崩溃，那么事务就需要中止，通过 Undo Log 回滚已执行的操作；如果事务已经写入了 Commit 记录，就表明事务已经安全提交，后面发生了崩溃的话，就要等待系统重启后，通过 Redo Log 恢复事务，然后再提交。

接下来，我们通过举例来简单描述下这个过程，注意这里简化了 Undo Log 和 Redo Log 的格式。假设一个事务操作 A、B 两个数据，他们的初值分别为 1 和 2 ，事务的操作内容为将 A 修改为 3 ，B 修改为 4 ，那么事务的执行流程如下图。

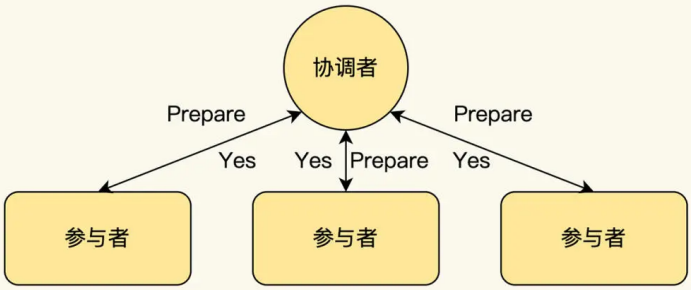


通过这些讨论，我们可以看出，**Redo Log 保证了事务的持久性，Undo Log 保证了事务的原子性，而写入 Commit 记录了事务的提交点**，它来决定事务是否应该安全提交。通过提交点，我们就可以将事务中多个操作的提交，绑定在一个提交点上，实现事务的原子提交。

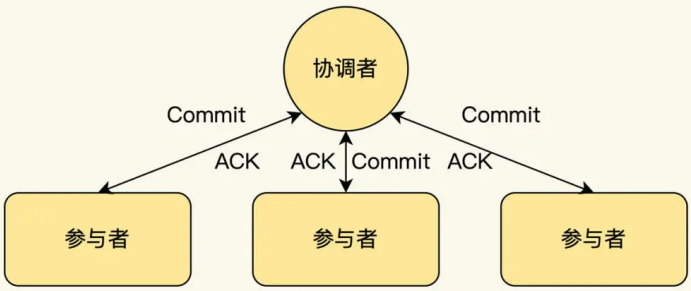
分布式事务

对于多节点上运行的事务（分布式事务）来说，除了当前节点整体失败导致的操作分割之外，还存在部分节点失败导致的操作分割。我们知道当前节点整体失败导致的操作分割，可以按单节点事务来处理，而对于部分节点失败导致的操作分割，一个常见的思路是通过两阶段提交（ 2PC ）来解决，实现 2PC 的思路如下图所示。

一、事务提交成功

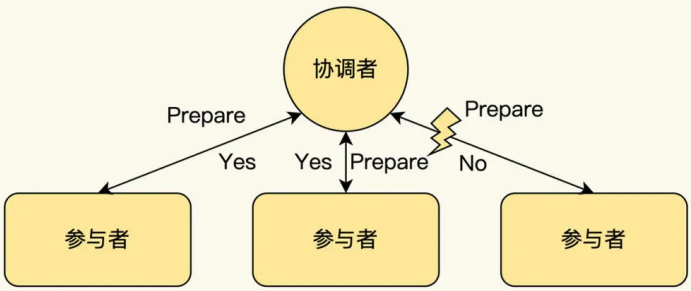


阶段 1： 所有的参与者 Prepare 都返回 Yes

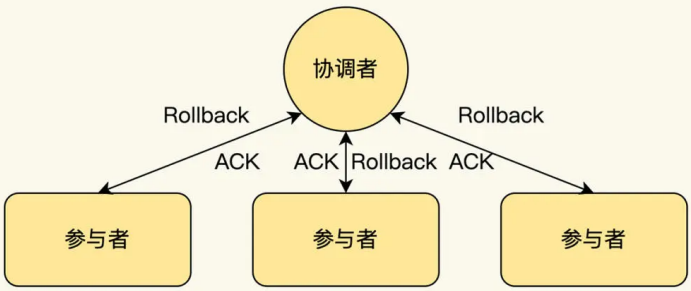


阶段 2： 协调者向所有参与者发送 Commit 消息，
协调者收到所有参与者的 ACK 后，事务成功完成

二、事务提交失败



阶段 1： 参与者 Prepare 中有返回 No 或者响应超时的节点



阶段 2： 协调者向所有参与者发送 Rollback 消息，
协调者收到所有参与者的 ACK 后，事务回滚完成

极客时间

选择一个协调者，这个协调者可以是分布式事务的参与节点，也可以是一个单独的进程。

阶段 1

- 协调者发送事务请求（Prepare）到所有的参与节点，并询问它们是否可以提交。
- 如果所有的参与节点都回复“是”，那么接下来协调者在阶段 2 发出提交（Commit）请求。
- 如果任何的参与节点都回复“否”，那么接下来协调者在阶段 2 发出放弃（Rollback）请求。

阶段 2

- 依据阶段 1 返回的结果，决定事务最终是提交（Commit）还是放弃（Rollback）。

关于 2PC ，在实现的时候，要特别注意 2 个关键点。

一是，**两个关键承诺**。第一个承诺在阶段 1 ，当事务的参与节点回复“是”的时候，对于当前事务，这个参与节点一定是能够安全提交的，它不仅要保障事务在提交时，不会出现冲突和约束违规之类的问题，还要保障即使出现系统崩溃、电源故障和磁盘空间不足等系统问题时，事务依然能够正常提交成功。

第二个承诺在阶段 2 ，当协调者基于参与者的投票，做出提交或者中止的决定后，这个决定是不可以撤销的。对于协调者来说，如果协调者通知参与者失败，那么协调者必须一直重试，直到所有的参与节点都通知成功为止；而对于参与者来说，不论协调者通知的结果是提交还是中止，参与者都必须严格执行，不能反悔。即使出现了故障，在故障恢复后，还是必须要执行，直到成功为止。

第二个关键点是 **2PC 的提交点**。当协调者通过参与者的投票，做出提交或者中止事务的决定后，需要先将决定写入事务日志，然后再通知事务的参与者。如果协调者在事务执行过程中崩溃了，那么等到协调者恢复后，在事务日志中如果没有发现未解决的事务，就中止事务；反之，就会继续执行事务。

所以，协调者将阶段 1 的决定写入事务日志就是 2PC 中事务的提交点，通过这个提交点，将多个节点的事务操作绑定在一个提交点上，然后像单节点事务一样，利用这个提交点来保证事务的原子性。

2PC 面临的问题

通过上面的讨论，我们知道了 2PC 可以解决分布式事务的原子性问题，但是要正确使用 2PC，还需要了解以下几个方面的问题。

第一，**2PC 是一个阻塞式协议**。当 2PC 的一个参与者，在阶段 1 做出了“是”的回复后，参与者将不能单方面放弃，它必须等待协调者的决定，也就意味着参与者所有占用的资源都不能释放。如果协调者出现故障，不能将决定通知给参与者，那么这个参与者只能无限等待，直到协调者恢复后，成功收到协调者的决定为止。

因为 2PC 有阻塞问题，所以后来又提出了 **3PC 协议，它在 2PC 的两个阶段之间插入了一个阶段，增加了一个相互协商的过程，并且还引入了超时机制来防止阻塞**。虽然 3PC 能解决 2PC 由于协调者崩溃而无限等待的问题，但是它却有着超高的延迟，并且在网络分区时，还可能会出现不一致的问题，这些原因导致它在实际应用中的效果并不好，所以目前普遍使用的依然是 2PC 。

第二， **2PC 是一个逆可用性协议**。如果在阶段 1 ，任何一个参与者发生故障，使准备请求失败或者超时，协调者都将中止操作；如果在阶段 2 ，协调者发生故障，也会导致参与者只能等待，无法完成操作。

你是否感觉很奇怪，同样是共识算法，Raft 和 Paxos 等共识算法都能容忍少数节点失败的情况，那为什么 2PC 则完全不能容忍节点的失败呢？**其实，这个差异的出现是因为 2PC 是一个原子提交协议，为了 all-or-nothing ，在操作过程中就需要与所有的节点达成共识**；而 Raft 和 Paxos 则只需要与大部分节点达成一致，确保共识成立即可，它可以容忍少数节点不可用，当故障恢复的时候，之前不可用的节点可以向其他正常的节点同步之前达成的共识。

第三，虽然 2PC 能保证事务的原子性，即一个事务所有的操作，要么都成功，要么都失败，**但是它并不能保证多个节点的事务操作会同时提交**。如果没有同时提交，即一部分节点已经提交成功，而另一部分节点还没有提交的时候，就将使事务的可见性出现问题，这部分知识，我们将在课程“事务（三）”中继续讨论。

总而言之，虽然 2PC 在性能、可用性和可见性方面都存在问题，但是目前分布式事务中，使用最广泛的还是 2PC 。

总结

在这节课中，我们先讨论了原子性的定义，了解了事务的原子性，以及操作系统的原子操作是两个不同的概念，事务的原子性只要求 all-or-nothing ，而操作系统的原子操作除了要求 all-or-nothing 之外，还需要可串行化的隔离级别。

然后，我们从单节点事务和分布式事务的角度，讨论了如何实现事务的原子性。对于单节点事务来说，我们将事务的多个操作绑定到，事务提交信息写入的一个提交点上，如果提交信息写入成功，那么事务提交，否则事务回滚。

而对于分布式事务来说，它在单节点事务的基础上，进一步地要求事务的多个参与者做出两个关键承诺，第一个承诺在阶段 1 ，当事务的参与节点回复“是”的时候，该参与者是一定可以提交的；第二个承诺在阶段 2 ，当协调者基于参与者的投票，做出提交或者中止的决定后，这个决定是不可以撤销的。

最后，我们讨论了 2PC 在性能、可用性和可见性方面有着一些问题，但是 **2PC 依然是当前分布式事务场景中，使用最多的原子提交协议**。

思考题

在学习 2PC 协议的过程中，我们提到了 3PC 协议，它在 2PC 的两个阶段之间插入一个阶段，从而增加了一个相互协商的过程，并且还引入了超时机制来防止阻塞，你知道这是怎么做的吗？

欢迎你在留言区发表你的看法。如果这节课对你有帮助，也推荐你分享给更多的同事、朋友。

分享给需要的人，Ta订阅超级会员，你最高得 50 元

Ta单独购买本课程，你将得 20 元

生成海报并分享

赞 2 提建议

© 版权归极客邦科技所有，未经许可不得传播售卖。 页面已增加防盗追踪，如有侵权极客邦将依法追究其法律责任。

上一篇 22 | 事务（一）：一致性，事务的集大成者

精选留言 (1)

写留言

peter

2022-03-25

请教老师一个问题： Q1：seata是2PC还是3PC？ springcloud体系架构中，seata是一个流行框架，那么，seat属于2PC 还是3PC？

展开